

# XL2アナライザによる 音声明瞭度の評価方法



空港、駅、ショッピングセンター、コンサートホールなど、公共性の高い施設のアナウンス放送は、緊急時における避難経路や方向を建物内の全ての場所において人々に明確に伝えなければなりません。XL2アナライザは、拡声システムから放送されたメッセージの明瞭度を客観的に定量化することができます。

STI音声明瞭度は話者のメッセージがどれくらい明確に聞き取れるかを表します。XL2は音声明瞭度をIEC 60268-16:2011 (edition 4)に準拠して測定します。STIとSTIPAは、音声明瞭度を評価する際の最も確立された測定手法です。STIPAはハンドヘルド型測定器用に規格化されたSTIの最適化バージョンです。このアプリケーションノートではこれらの測定手法について原理と背景を説明します。

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 目次                                                   |    |
| イントロダクション                                            | 2  |
| 規格                                                   | 3  |
| テスト信号                                                | 4  |
| STI測定 – はじめに                                         | 7  |
| STI値のアベレージング                                         | 9  |
| 周囲騒音補正                                               | 10 |
| STIのレポート作成                                           | 14 |
| 測定ポイントと回数                                            | 15 |
| 音圧レベルに対する聴覚マスキング                                     | 17 |
| 測定のヒント                                               | 18 |
| STI測定に必要な専門知識は?                                      | 20 |
| Modulation Transfer Function (MTF)                   | 23 |
| STI - Speech Transmission Index                      | 24 |
| RASTI - Room Acoustics Speech Transmission Index     | 25 |
| STIPA - Speech Transmission Index for Public Address | 26 |

## イントロダクション



災害発生時、建物の中で放送設備の不備によりアナウンスされたメッセージがよく聞き取れなかった場合、被害がさらに拡大してしまいます。そのため、設備に関しては設計、設置、点検の全ての段階で音声明瞭度を適切な方法で検証する必要があります。さらに、公共性の高い医療、産業、商業施設の放送設備においては、音声明瞭度の要求レベルがそれぞれの分野で法規または基準として定められています。

XL2アコースティックアナライザは音声明瞭度を15秒で測定する機能を装備しています。測定結果を一つの数値としてSTI (Speech Transmission Index) またはCIS (Common Ineligibility Scale) で表示するほか、各帯域の変調指数や音圧レベルを詳しく調べることもできます。

測定手法は最新規格のIEC 60268-16:2011 (edition 4) に準拠しています。さらに旧規格のedition 2および3にも対応しています。また、周囲騒音補正や測定値のアベレージング機能をサポートしています。

音声明瞭度は下記のパラメータに影響を受けます。

- SN比
- 心理音響のマスキング効果
- 音圧レベル
- 周囲騒音レベル
- 残響時間
- 反射
- 周波数レスポンス
- 歪み

**現在所有しているXL2アナライザにSTIPA測定機能を追加できますか？**

可能です。すべてのユーザーの方々がSTIPAをライセンスとして入手できます。ライセンス番号によりユーザーサポートサイトMy NTI Audio (<https://my.nti-audio.com>) からアクティベーションキーを入手できます。詳しくは付属のインストラクションまたは弊社までお問合せください。

## 規格



ISO 7240-16 / - 19規格では、警報システムに関して検証すべき項目が定められています。ここでは実際の環境下において、緊急時に必要最低限の音声明瞭度が確保されているか測定により明らかにすることが要求されています。したがって、規制値の設定という観点から主観的な評価ではなく、IEC 60268-16規格で標準化されているいくつかの測定手法を用いて検証すべきです。

### 国際規格：

|              |                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|
| CEN/TS 54-32 | Fire detection and fire alarm systems                                   |
| ISO 7240     | Fire detection and alarm systems, section 16 & 19                       |
| IEC 60268-16 | Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index |
| EN 50849     | Sound systems for Emergency purposes                                    |

国家規格として音声明瞭度の規定または推奨値が標準化されています。

### 国家規格：

|            |                                                                                                                                                   |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AS 1670.4  | Australia: Fire detection, warning, control and intercom systems                                                                                  |
| NFPA 72    | US: National Fire Alarm Code (2010 edition)                                                                                                       |
| BS 5839-8  | Great Britain: Fire detection and alarm systems for buildings. Code of practice for the design, installation and servicing of voice alarm systems |
| VDE 0828-1 | Germany: Electroacoustic Emergency Systems with application regulation described in standard DIN VDE 0833-4                                       |

## テスト信号

---

測定対象とする音響設備により、次のSTIPAテスト信号を使用してください。

**NTi Audio TalkBox** NTi AudioのTalkBoxは、人の声の音響レベルを精密に再現します。アナウンスマイクロホンを含む信号伝達経路で測定できます。

- NTi Audio TalkBoxを話者の標準的な高さに合わせマイクロホンの前に置きます。
- STIPAテスト信号のTrack 1を選択します。
- Output Mode to Speakerを選択すると、STIPAテスト信号が出力されます。

**Minirator MR-PRO** MR-PROは、アナウンスマイクロホンを経由せずに直接放送システムに入力する際に使用します。

**CD Player** 当オプションにはNTi Audio CD STIPA V1.1が付属しています。高品質なCDプレーヤーを使用してください。詳しくは「STIPA測定のヒント」の項を参照してください。

STIPA信号は、男性の音声スペクトルの帯域制限ランダムノイズを基に作られています。



XL2により音声明瞭度を測定する際は、必ずNTi Audioから供給されている専用のテスト信号を使用してください。

他の信号はシームレスにループしていない可能性があり、測定誤差の原因となります。MP3などの圧縮フォーマットは使用しないでください。



NTi Audio TalkBox

## NTi Audio TalkBox

NTi Audio TalkBoxは、アナウンス用マイクロホン経由で測定する際に必要になります。

TalkBoxはテスト信号を話者の音響レベルで正確に出力します。これにより、マイクロホンを含む全ての信号伝達経路を経由した測定が可能になります。テスト信号は話者の通常または緊急時の音響レベルを正確に再現するようキャリブレーション済みです。次のような場面でNTi Audio TalkBoxの使用を推奨いたします。

- 規則によりマイクロホンを含むエンドツーエンドのシステムチェックが要求されている。これはシステムの実際の使われた方に最も則した検査方法です。
- 電気的なテスト信号を入力する箇所がない。
- テスト信号レベルが定義されていない。
- 話者の音響環境がフラットな特性を要求される。
- アナウンス用マイクロホンに関して感度、周波数レスポンスが不明であり、これらの特性が反映された評価が必要。
- 他の理由により、実際の状況下で信号伝達経路の全てをテスト対象とすることが望ましい。
- 規格化されたSTIPA信号は、男性の音声スペクトルに基づく帯域制限ランダムノイズです。
- TalkBoxはシステムチューニングやテストに便利なホワイト/ピンクノイズ、音声メッセージ、正弦波、チャープ信号を内蔵しています。

## TalkBoxの使い方

- マイクロホンの前にTalkBoxを設置します。高さや距離は話者の通常位置とします。
- STIPAテスト信号の入ったTrack1を選択します。
- Output Mode to Speakerを選択すると、STIPAテスト信号が再生されます。



実使用状態で話者とマイクロホンの距離 $d$ が10cm未満の場合、信号スイッチA(70 dB @ 1 m)を使用します。そして、話者とマイクロホンの距離 $d$ の3倍離れた位置（例えば距離 $d$ が5 cmの場合は15 cm）にTalkBoxを設置します。これは近距離からの話者レベルをシミュレートすると同時に、不要な近接効果を防ぎます。



Minirator MR-PRO

### Minirator MR-PRO

MR-PROのテスト信号を電気信号としてPAシステムに入力します。例えばアナウンスマイクロホンが無く、アラームメッセージがハードドライブに収録されている場合に使用します。

- Minirator出力レベルの設定方法：
- 録音されたアナウンスを再生する場合は、40秒以上のLAeq値により決定します。
- 測定レベルに3dBプラスします。これは人の会話の中の無音の部分、例えば単語の間隔を補正するもので、IEC 60268-16:2011、Annex J4に準拠しています。
- MiniratorのSTIPAテスト信号を再生します。
- 同じ測定位置でアナウンスレベルがLAeq + 3 dBになるまでボリュームを上げます。
- XL2アナライザでSTIを測定します。

## STI測定 - はじめに

### テスト準備

XL2にNTi Audio測定用マイクロホンが接続されると、自動的に電子データシートを読み取り、48Vファンタム電源をオンにします。

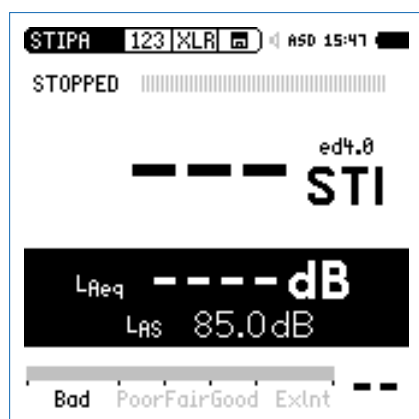
- NTi Audio測定用マイクロホンをXL2アナライザに接続します。
- XL2の電源  を入れます。

 画面上部メニューバーにある48Vファンタム電源の表示がASDに切り替わります。これでXL2は測定の準備ができました。

- マイクロホンスタンドまたは三脚を使用し、XL2を測定位置に設置します。
- 測定メニューでSTIPA測定ファンクションを選択します。
- 測定環境を整えます。例えば、静かな環境にするため全ての信号発生源をミュートします。



STIPA測定中は衝撃騒音の発生を防ぐため、測定用マイクロホン近くでの会話や騒音源となる器物の設置は控えてください。



### テスト信号を出力する

測定アプリケーションに応じてSTIPAテスト信号を選択してください。

- 信号源のSTIPAテスト信号をオンにします。
- 拡声装置の音圧レベルを調整し、通常のアナウンスレベルで出力します。例えばLAS = 85 dB





### STIPA測定を開始する

- スタートボタン  を押します。
- 👉 測定状態の表示がRUNNINGに切り替わります。途中経過がSTIPAバーグラフに目盛られたBad、Poor、Fair、Good、ExIntで確認できます。

ISO7240-19:2007規格では、すべての測定エリアにおいてSTIの許容値を次のように規定しています。

- 平均値: 0.50 STI
- 最低値: 0.45 STI

### 測定を停止して保存する

測定開始から15秒後、STIPA測定は自動的に停止します。測定状態の表示がFINISHEDに切り替わり、測定結果が表示されます。測定結果が自動的に保存されます。

- STIPAテスト信号をオフにします。
- Enter  で確定します。測定データはSDカードにASCIIフォーマットで保存されます。
- 👉 これで測定が完了しました。



### A+ ~ Uによる評価基準

STI値は下表のように用途別の推奨値が設けられています。

| バンド | STI レンジ     | 用途例                     |
|-----|-------------|-------------------------|
| A+  | > 0.76      | レコーディングスタジオ             |
| A   | 0.72 - 0.76 | 劇場、講堂、議会、裁判所            |
| B   | 0.68 - 0.72 | 劇場、講堂、議会、裁判所            |
| C   | 0.64 - 0.68 | テレビ会議室、劇場               |
| D   | 0.60 - 0.64 | 教室、コンサートホール             |
| E   | 0.56 - 0.60 | コンサートホール、教会             |
| F   | 0.52 - 0.56 | ショッピングセンター、官公庁、大聖堂の音響設備 |
| G   | 0.48 - 0.52 | ショッピングセンター、官公庁の音響設備     |
| H   | 0.44 - 0.48 | 音響設備としての使用に向いていない       |
| I   | 0.40 - 0.44 | 音響設備としての使用はかなり困難        |
| J   | 0.36 - 0.40 | 音響設備として不適格              |
| U   | < 0.36      | 音響設備として不適格              |



## STIPA値のアベレージング



IEC60268-16規格では、同じ測定位置で連続して2または3回測定し、平均を算出することを推奨しています。

ドイツVDE 0833-4規格では、STI < 0.63の場合に同じ測定位置で連続して3回以上の測定が必要です。

XL2アナライザはこれらの規格に対応するため、2～8回のSTIPA値を自動的に平均する機能を装備しています。

### アベレージングを開始する

- 平均値のページ**Avr**を選択します。
- ロータリーホイールでパラメータ**START NEW**を選択し、Enter Ⓢを押します。

👉 これで1回目のSTIPA測定が自動的に開始されます。画面に**Cyc 1**と表示されます。



### サイクルを追加する

- **Add Cycle**を選択し、Enter Ⓢで確定します。
- 同じ測定位置で必要に応じて測定を繰り返します。

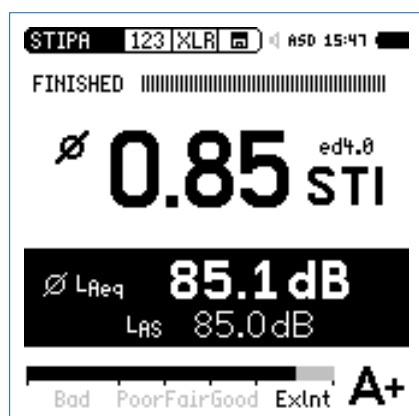
👉 これでXL2はSTIPA測定を追加しました。各測定値はリストに表示されます。



### 終了

- **Finish**を選択すると、平均値の算出が終了します。

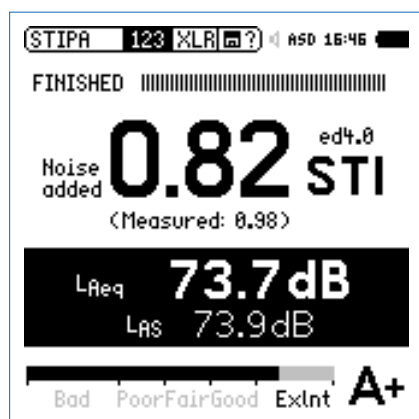
👉 これでSTIPAの平均値と偏差が算出されました。これらはドキュメンテーションに利用できます。



### STIPA数値結果のページの表示

シンボルマーク  $\varnothing$  は、平均したSTI値が表示されていることを示しています。

## 周囲騒音補正



音声明瞭度を実際の現場で測定することは簡単なことではありません。例えば、利用者が大勢いるラッシュアワーの駅構内で、緊急時の音圧レベルでテスト信号を出力することは困難でしょう。さらに、ラッシュ時には非常に高いレベルの衝撃騒音が発生しており、正確な測定にはわずかな衝撃騒音も許されないSTIPA測定の必要条件を満たすことができません。このような状況においては、夜間などより条件の整った時間帯にSTIPA測定を実施すべきでしょう。

音声明瞭度は周囲騒音に影響されます。各々のオクターブバンドでSN比が15 dB以下の場合は、補正をかける必要があります。

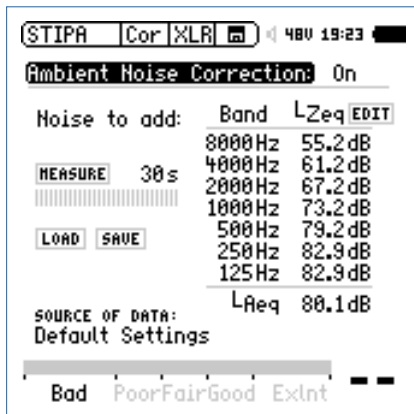
### 測定手順

- 初めに暗騒音を測定します。(例えば昼間)
- 次に音声明瞭度STIPAを測定します。(例えば夜間)



この手順によりSTIPA測定は簡略化されます。周囲騒音を計算に入れた音声明瞭度が測定終了と同時にXL2画面に表示されます。この値により、その測定位置で繰り返し測定によるアベレージングが必要かどうか判断できます。さらに詳しくは、「測定のヒント」の項を参照してください。

測定現場でXL2の周囲騒音補正をかけなかった場合でも、保存されたデータをPC上で後処理できます。NTi AudioではSTIレポートツールは提供しており、騒音のない状況で測定したSTIPAの結果に、例えば昼間に実際の場所で発生している騒音を掛け合わせて評価できます。これにより、実際の状況下を想定したSTIPA値を再現できます。



### 周囲騒音補正を使用する

- 周囲騒音補正ページで**Cor**を選択します。
- ロータリーホイールでパラメータ **Ambient Noise Correction** を選択し、Enterを押します。
- 👍 これで騒音補正が可能になりました。XL2には次の画面が表示されます。



バンドごとの周囲騒音レベルと**LAeq**を変更することができます。

### 完成試験

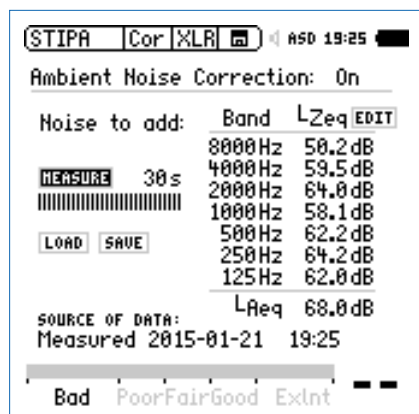
オープン前の施設で初めて放送設備を試験する際、その現場で実際の周囲騒音を収録することはできません。この場合、次のいずれかの方法で周囲騒音データを収録し、実在する騒音をシミュレートできます。

- 実際の現場に適用可能なリファレンス騒音ファイルを利用
  - 類似する他の現場で周囲騒音を測定し、リファレンス騒音ファイルとして保存します。
  - 実際の現場に戻り、ロータリーホイールでパラメータ**Load**を選択し、Enterを押します。
  - 保存済みのリファレンス騒音ファイルを選択し、今回の暗騒音補正に利用します。
- 保存済みの騒音データを編集
  - ロータリーホイールでパラメータ**Edit**または**LAeq**を選択し、Enterを押します。
  - ロータリーホイールで周波数バンド毎に騒音レベルを調整します。
  - Enterを押して次の周波数バンドを選択します。

施設の開業後に実際の周囲騒音を測定し、STI値を再検証します。

## 周囲騒音測定

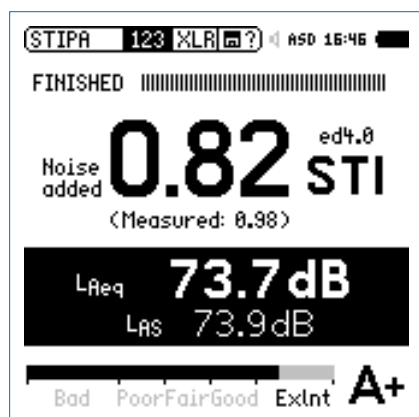
- STIPA測定位置にマイクロホンを設置します。
- **Measure**を選択します。(テスト信号無しの状態にて)
- ☝ XL2は周囲騒音を測定し、オクターブバンド毎にサウンドレベル **LEQ**を表示します。



これで騒音データを編集することができます。

## STI測定

- STIPAの測定結果ページ**123**を選択します。
- STIPA測定を実行します。
- ☝ XL2は補正されたSTIPA値を大文字で表示します。補正されていないSTIPA値は下側に小文字で表示されます。



## アナウンスレベル

音声明瞭度は実際に放送されている音圧レベルで測定します。

アナウンスレベルは周囲騒音レベルより少なくとも10dB以上の高さが必要です。このレベルは建物内にいる人々に警報を伝える必要のあるすべてのエリア、すなわち非常放送用スピーカーの設置されているすべての場所で適用されます。測定されたアナウンスレベルは、聞き手の位置で65dBA以上、105dBA以下であることが要求されます。高いアナウンスレベルが必ずしも良いとは限りません。なぜなら音声明瞭度は80 dBAを超えると徐々に低下するからです。

ISO7240規格で規定されたアナウンスレベルの測定時間は各測定位置で60秒です。NTi Audio TalkBoxはこうしたリファレンススピーカーとしての用途にも使用できます。TalkBoxは標準で付属するアナウンス信号だけでなく、ユーザーの方々独自のスピーチも規定された音圧レベル再生できます。追加するアナウンス信号は内蔵するメモリーカードへ読み込みことで、シームレスにループされます。

## 適用される周囲騒音例

下表はオーストリアのTRVB S 158 – 2006規格で適用される施設別の周囲騒音レベルです。

| Area Type                          | Sound Level<br>LAeq [dB] |
|------------------------------------|--------------------------|
| Airport                            |                          |
| - check in, departure/arrival hall | 59 - 72                  |
| - gates                            | 54 - 64                  |
| - custom area                      | 63 - 71                  |
| - passages                         | 59 - 70                  |
| - waiting area departure           | 49 - 64                  |
|                                    |                          |
| Aisles                             |                          |
| - with carpet                      | 28 - 32                  |
| - quiet without carpet             | 45 - 55                  |
| - noise without carpet             | 66 - 76                  |
|                                    |                          |
| Bus station                        |                          |
| - quiet                            | 58 - 68                  |
| - noisy                            | 63 - 73                  |
|                                    |                          |
| Conference room                    | 40 - 45                  |
| Concert halls, cinemas, theaters   | 60 - 75                  |
| Courtrooms                         | 40 - 50                  |
| Exhibition hall                    | 63 - 73                  |
|                                    |                          |
| Hotels/Motels                      |                          |
| - service support areas            | 55 - 65                  |
| - sleeping room, TV off            | 28 - 35                  |
| - sleeping room, TV on             | 60 - 70                  |
|                                    |                          |
| Libraries                          |                          |
| - reading area quiet               | 35 - 45                  |
| - reading area noisy               | 50 - 60                  |
| - reception                        | 50 - 60                  |
|                                    |                          |
| Manufacturing facilities           |                          |
| - monitoring stations              | 70 - 75                  |
| - common manufacturing             | 80 - 85                  |
| - heavy industry                   | 95 - >105                |
|                                    |                          |
| Markets                            |                          |
| - quiet                            | 47 - 63                  |
| - noisy                            | 63 - 80                  |
|                                    |                          |

| Area Type                 | Sound Level<br>LAeq [dB] |
|---------------------------|--------------------------|
| Offices                   |                          |
| - Single person office    | 40 - 50                  |
| - Open-plan office quiet  | 50 - 70                  |
| - Open-plan office noisy  | 70 - 85                  |
|                           |                          |
| Public Areas              | 50 - 64                  |
|                           |                          |
| Restaurant                |                          |
| - quiet                   | 55 - 65                  |
| - noisy                   | 68 - 78                  |
|                           |                          |
| Railway                   |                          |
| - waiting area            | 54 - 65                  |
| - service area            | 60 - 66                  |
| - platform electric train | 60 - 72                  |
| - platform diesel train   | 75 - 85                  |
|                           |                          |
| Restaurants               |                          |
| - customer area           | 72 - 75                  |
| - kitchen                 | 65 - 75                  |
|                           |                          |
| Schools                   |                          |
| - classrooms, quiet       | 56 - 68                  |
| - classrooms, noisy       | 64 - 72                  |
|                           |                          |
| Shops                     |                          |
| - quiet                   | 50 - 60                  |
| - noisy                   | 65 - 75                  |
| - shopping centre         | 70 - 75                  |
|                           |                          |
| Sport facilities          |                          |
| - quiet                   | 60 - 72                  |
| - noisy                   | 72 - 82                  |
| - squash                  | 60 - 80                  |
| - ice-skating hall        | 69 - 80                  |
| - swimming hall           | 72 - 79                  |
| - swimming area kids      | 81 - 87                  |
| - bowling                 | 78 - 85                  |

## STIのレポート作成

STIレポートニングツールは、下記規格に準拠して測定レポートを作成します。

- AS 1670.4
- CEN/TS 54-32:2015
- DIN EN 50849:2017
- IEC 60268-16
- ISO 7240-19:2007
- VDE V 0833-4-32:2016 (VDE 0828-1:2017-11)

| STIPA Summary Report                                                                           |                             |                                            |     |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|-----|------|------|
| Report according to IEC 60268-16(ed4), chapter 7.6.4 and DIN VDE 0833-4(2007-08), appendix F.6 |                             |                                            |     |      |      |
| Project                                                                                        |                             | Waiting Room                               |     |      |      |
| Comments                                                                                       |                             | Measured in empty room with TalkBox        |     |      |      |
| Standard                                                                                       |                             | IEC 60268-16 ed4.0 2011                    |     |      |      |
| All                                                                                            | Arithmetic mean lav         |                                            | STI | 0.58 |      |
|                                                                                                | Standard deviation $\sigma$ |                                            | STI | 0.06 |      |
|                                                                                                | lav - $\sigma$              |                                            | STI | 0.52 | G    |
| 1                                                                                              | Position                    |                                            |     | STI  | 0.58 |
|                                                                                                | STIPA File                  | Altbfur_STIPA_000 (Altbfur, 1)             |     |      | E    |
|                                                                                                | Noise File                  | XL2_V2x_RTA_APPEND_SLM_008 (MyLocation, 1) |     |      |      |
| 2                                                                                              | Position                    |                                            |     | STI  | 0.57 |
|                                                                                                | STIPA File                  | Altbfur_STIPA_000 (Altbfur, 2)             |     |      | E    |
|                                                                                                | Noise File                  | XL2_V2x_RTA_APPEND_SLM_008 (MyLocation, 2) |     |      |      |
| 3                                                                                              | Position                    |                                            |     | STI  | 0.60 |
|                                                                                                | STIPA File                  | Altbfur_STIPA_000 (Altbfur, 3)             |     |      | D    |
|                                                                                                | Noise File                  | XL2_V2x_RTA_APPEND_SLM_008 (MyLocation, 3) |     |      |      |
| 4                                                                                              | Position                    |                                            |     | STI  | 0.54 |
|                                                                                                | STIPA File                  | Altbfur_STIPA_000 (Altbfur, 4)             |     |      | F    |
|                                                                                                | Noise File                  | XL2_V2x_RTA_APPEND_SLM_008 (MyLocation, 1) |     |      |      |
| 5                                                                                              | Position                    |                                            |     | STI  | 0.52 |
|                                                                                                | STIPA File                  | Altbfur_STIPA_000 (Altbfur, 5)             |     |      | F    |
|                                                                                                | Noise File                  | XL2_V2x_RTA_APPEND_SLM_008 (MyLocation, 2) |     |      |      |
| 6                                                                                              | Position                    |                                            |     | STI  | 0.52 |
|                                                                                                | STIPA File                  | Altbfur_STIPA_000 (Altbfur, 6)             |     |      | F    |
|                                                                                                | Noise File                  |                                            |     |      |      |

STIレポート(エクセルマクロ)はユーザーサポートウェブサイトにユーザー登録することにより、無償でダウンロードできます。

## 測定ポイントと回数

ISO7240-19:2007では、下表に示された床面積により測定ポイント数を規定しています。そのため、音声明瞭度の測定に際しては、これらと同数以上のポイントで実施します。

| Area [m2]   | Minimum number of measurement points |
|-------------|--------------------------------------|
| < 25        | 1                                    |
| 25 - 100    | 3                                    |
| 100 - 500   | 6                                    |
| 500 - 1500  | 10                                   |
| 1500 - 2500 | 15                                   |
| > 2500      | 15 per / 2500 m2                     |

- ・ 測定ポイント間の距離が12 mを越えないこと。
- ・ 測定ポイントがエリア全体に等しく分布していること。
- ・ 測定ポイントの1/3がスピーカー軸上から外れていること。
- ・ マイクロホンは着席または起立状態で、それぞれ約1.2 m、1.6 mの高さに設置する。

### オーストラリアにおける規定

- ・ STIが0.56以上の場合、一回の測定で可とします。
- ・ < 0.56 STIの場合、最低二回の測定が必要です。
- ・ 二回の測定値の差が0.03以上ある場合、三回目の測定を実施します。
- ・ 値の近い二回の測定結果から平均値を計算し、最終的にその場所における音声明瞭度とします。
- ・ 測定ポイントは対象エリアの広さに応じて決定します。
- ・ STIにおける算術平均lavと標準偏差を計算します。
- ・ 算術平均lavから標準偏差を引いた値は0.50STI以上が必要とされます。この値がリミットの±標準偏差以内の場合、より多くの測定ポイントで再度測定を実施します。
- ・ すべての対象エリアにおいて明瞭度の平均値とその95%信頼区間が必要です。



### ドイツVDE 0833-4規格における規定

STI > 0.63 一回の測定で可とします。

STI < 0.63 同じ測定位置で三回の測定を実施してください。

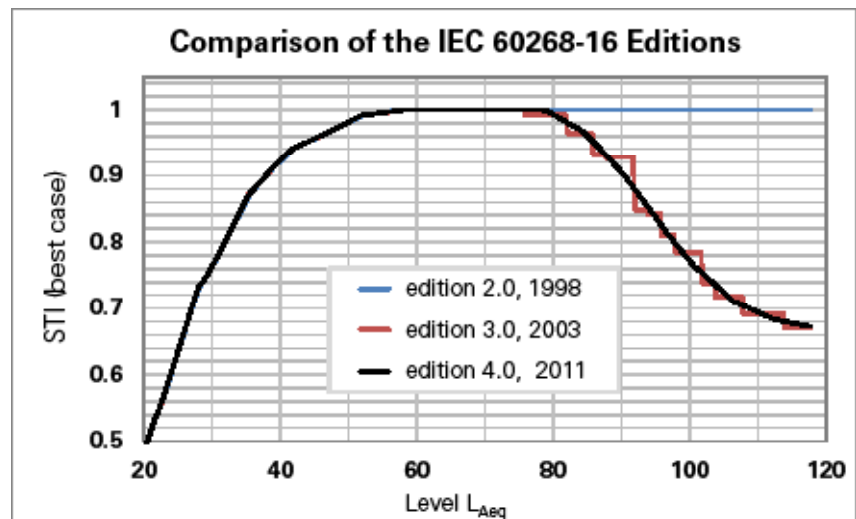
- これら三回の測定結果の差が最大0.03以上の場合、さらに三回測定してください。
- これら三回の測定結果の差が0.05以上の場合、不安定な値になる原因を調べて解決してください。
- 実施した三回または六回の測定の算出平均を記録してください。

STI>0.63の場合、音声明瞭度は95%の信頼度で0.5より高くなります。

## 音圧レベルに対する聴覚マスキング

聴覚のレベルマスキングは、IEC60268-16規格の下記エディションにおいて変更が加えられています。

- ed2.0 1998年に発行された旧エディションにて、聴覚のレベルマスキングなし。
- ed3.0 2003年に発行された旧エディションにて、聴覚のレベルマスキング・ステップカーブを採用。
- ed4.0 2011年に発行された現行エディションにて、聴覚のレベルマスキング・カーブを採用。



最も良好な音声明瞭度は、70～80dB SPLで得られます。音圧レベルが高すぎると聴覚保護作用により明瞭度が低下します。例えば70 dB SPLでは1のSTIがより高い音圧レベルで0.7まで低下することがあります。

## 測定のコツ

### 周囲騒音について

周囲騒音レベルは測定している間、十分に安定していることが必要です。また、正確にSTIPAを測定するため、15dB以上のSN比を確保してください。測定中に人の声等の変動の大きい騒音が入った場合、著しい測定エラーの原因になります。通常STIPA値が非常に高くなってしまう。



テスト信号をオフにした状態でSTIを測定することで、エラーの原因となる騒音の変動を調べることができます。少なくとも現場の代表的な位置でこの測定を実施してください。STI値が非常に高い場合（例えば $STI > 0.2$ ）、測定結果が誤っている可能性が高くなります。そしてSTIPA測定を騒音の無い状態で測定し直してください。このような現場では周囲騒音補正が利用できます。

施設内で場所により周囲騒音レベルが異なる場合、（例えば、人が少ない場所と混雑している場所がある場合）一番条件の悪い場合に合わせてSTIPAを測定してください。このような状況下において、測定位置、必要とされる測定回数に関しては国ごとの規定（例えばアメリカのNFPAcode）に従ってください。

### STI測定

- 明瞭度指数は0から1の間で示され、1に近づくほど明瞭度が高くなります。許容される最低の明瞭度は一般的に0.5です。混雑している場所でその場にいる人々へ警告メッセージを伝えるには、少なくとも0.45が必要とされています。
- STIPA測定では値の偏差が一つの測定位置で0.03以下になるはずですが。測定値の偏差が0.03以上の場合、偏差が大きい原因を解決してから再度測定してください。（例えば測定を夜間に実施するなど）。
- STIPA値が低い場合には次の要因が考えられます。

- 残響、エコー、反射音が多い。
- スピーカーの指向性、またはカバーエリアが狭い。
- スピーカー音量設定が不適切、またはSN比が低い。

### 衝撃騒音が常に発生する環境への対処方法

工場や高速道路の近くでは24時間365日衝撃騒音が発生し、STIPA測定を実施することは困難です。このような場合、現場の状況を研究室でシミュレートしてSTIPAを測定します。

- 実際の騒音スペクトルを、例えばNTi Audio XL2アナライザなどにより時間平均レベルで測定します。
- 測定された各々のオクターブバンドレベルと同じで、その上衝撃騒音がない騒音を研究室の拡散音場で出力します。
- 実際の話者と受話者がいる音響空間を可能な限り同じになるよう研究室で再現します。
- そして実際のSTIPAを測定します。後処理は必要ありません。

この手法はAGC (Automatic Gain Control) 機能が入った設備で、この機能を外して測定することができない場合に有効です。

### 測定設定

可能な限り緊急時と同じ設定で測定します。

- マイクロホンは床から着席エリアで1.0～1.2m、起立エリアで1.5～1.8 mの高さに設置します。(代表的な測定位置ではスピーカー正面は避けます。)
- 測定結果に影響しないよう、音響空間での会話は避けてください。そのため、測定用マイクロホンはマイクロホンスタンドを使って設置し、XL2とASDケーブルで接続することを推奨いたします。
- VDE 0833規格の初期ドラフトでは、6 x 6 mから12 x 12 mグリッドでの測定が規定されています。例えば、展示会ホールのような広い場所では12 x 12 mのグリッドを使用します。測定ポイントは被測定エリアの音声明瞭度を明らかにする必要があります。

### CDプレーヤーの使用

高品質なCDプレーヤーを使用してSTIPAテスト信号を再生してください。信頼性の高いSTIPA測定値を取得するには、STIPAテスト信号を非常に少ないタイムシフト ( $\pm 20\text{ppm}$ )で再生する必要があります。ピッチコントロールとショックプロテクションは無効にしてください。業務用CDプレーヤーの使用を推奨いたしますが、以下の方法により1kHzテスト信号を使用してCDプレーヤーのタイムシフトを調べることができます。

- NTi Audio CDをCDプレーヤーに挿入し、1 kHzテスト信号の入ったトラック1を再生します。
- CDプレーヤー出力を直接XL2に入力し、RMS/THD+Nモードで信号周波数を測定します。表示された周波数が0.99998kHz~1.00002 kHzの範囲にあることを確認してください。

他社測定器から供給されるSTIPAテスト信号は、同じように聞こえるかもしれませんが互換性はありません。XL2にはNTi Audio STIPAテストCD V1.1 (または以上) を使用してください。

### 反響が多い空間での音声明瞭度

アナウンス設備に狭指向性のスピーカーを使用します。指向性が制御されていないスピーカーから出た音は反射により明瞭度の低下を招きます。

## STI測定に必要な専門知識は？

---

STIPA測定法の技術的背景は複雑ですが、XL2アナライザを使うことでSTIPA測定は非常に簡単に実施できます。測定する方々に基礎的な音響知識があれば問題ありません。XL2は本体に測定データを保存できるので、面積が広く非常に多くの測定ポイントを抱える測定現場でも簡単にデータをまとめることができます。また、測定に熟練した方々はMTF (Modulation Transfer Function)のマトリクスにアクセスし、すべての測定データを後処理することが可能です。

さらに詳しい情報：

さらに詳しくは[www.nti-audio.com](http://www.nti-audio.com)をご覧ください。

音声明瞭度測定についての詳しい測定手順や要件については、IEC60268-16 (2011. edition 4.0) 規格を参照してください。

# 付属資料

## 主観的評価法

---

周波数レスポンス、残響、歪み、SN比、ラウドネスが明瞭度に影響を与えていることは確かです。しかし、これら従来からあるパラメータの全ての測定結果を総合して明瞭度を評価することは困難です。さらに、スピーカーの指向性や周囲の騒音を考慮した場合、「発話された言葉が異なる位置でどれくらい理解できるのか」ということが疑問になります。

明瞭度を評価する基本的なアプローチとして、訓練を受けた話者に既存あるいは合成の単語をいくつか読んでもらい、数人の聞き手が理解した内容を書き出す、といったものがあります。聞き手が書き取ったメモから正確に聞き取れた単語の割合を算出し、統計を出します。PB-words、CVC、Speech Reception Threshold (語音聴取閾値) などが、この手法に基づき標準化されています。しかし、この評価方法は時間とコストを要し、さらに測定位置の多い非常用放送システムの設置された現場での実施は現実的ではありません。そのため、この評価法は主に別の測定方法を検証する際に使われます。

## 客観的評価法

---

ベル研究所では、早くも1940年に音声明瞭度を測定するための技術開発に着手していました。最近では、SII (Speech Intelligibility Index) やいくつかの評価形式を持つSTI (Speech Transmission Index) などの高度に発展したアルゴリズムにより、音声明瞭度を客観的に定量化することができます。

これらの評価法では、以下の様な明瞭度に影響を与える多くの重要なパラメータを検証しています。

- SN比
- 心理音響マスキング効果
- 音圧レベル
- 暗騒音レベル
- 残響時間RT60
- 反響
- 周波数レスポンス
- 歪み

STI測定の基本原理は、人の声の代わりになるような合成テスト信号を出力し、解析することです。音声明瞭度測定ではこの信号を収録し、人が聞いた感覚と同じように評価します。広範囲な研究により、人の声を持つ特性の変質が明瞭度にどのような結果もたらすか、その関連性が明らかになりました。これらの発見から、音声明瞭度は一つの数値として0(悪い)から1(非常に良い)まで表示する音声明瞭度メータとして具現化されました。

|   |     |      |      |      |      |           |
|---|-----|------|------|------|------|-----------|
| 0 | STI | 0.3  | 0.45 | 0.6  | 0.75 | 1.0       |
|   |     | BAD  | POOR | FAIR | GOOD | EXCELLENT |
| 0 | CIS | 0.48 | 0.65 | 0.78 | 0.88 | 1.0       |

図1: 音声明瞭度は一つの数値で表されます。STI (Speech Transmission Index)とCIS (Common Intelligibility Scale)が代表的な指標です。

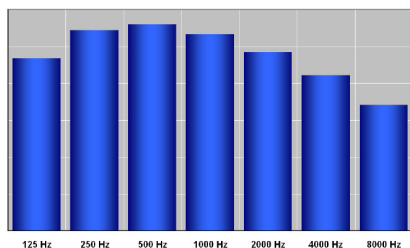


図2: 男性の声の平均的なオクターブバンドスペクトル

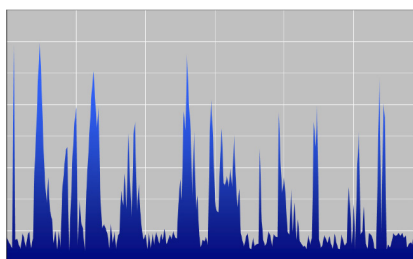


図3: 音声信号(250 Hz band)の包絡線

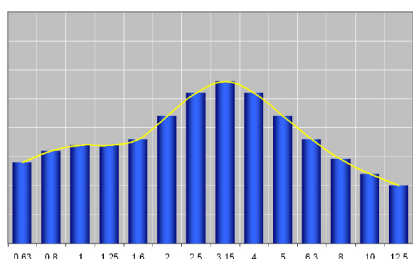


図4: 包絡線(250 Hz band)の周波数スペクトル

## 音声モデル

第一に音声明瞭度測定には音声信号のモデルが必要になります。例えば、音声をどのように一つの周波数スペクトルとして表すのか。これは、時間とともに変化するスペクトルを合成し、長期間の音声周波数スペクトルを規定します。そして、時間とともに一定の周波数で変調します。

## 時間変調

各々の周波数成分におけるレベルは、話者による変調で変化しています。図3は、音声信号のオクターブバンド250 Hzの包絡線を示しています。包絡線の形は、時間とともに発せられた言葉を平均化することで得られます。

## 周波数スペクトル

時間平均された男声の標準的なスペクトル分析が図2に示されています。

強度変調のスペクトルを分析することで、話者が0.1から24Hzの周波数で音声スペクトルを変調していることが分かります。測定では0.63 Hzから12.5 Hzの変調周波数が使用されます。



## Modulation Transfer Function (MTF)

高い音声明瞭度を得るには、信号の強度変調スペクトルとすべてのスペクトルが聴取者の位置で保たれている必要があります。そして、主要となる三種類の音声明瞭度測定法STI、RASTI、STIPAでは、七つのオクターブバンドにおけるMTF (Modulation Transfer Functions) を求めています。各々のオクターブバンドにおいて、一つのMTFは、そのオクターブバンドにおいて強度変調がどの程度保たれたかを数値化します。つまり七つのオクターブバンドにおけるこれらの関数は、長期間の音声スペクトルでどの程度強度変調が保存されているかを表します。



図5: 残響、暗騒音、反響により変調指数が低下する様子

図6は一つのオクターブバンドのMTFを示しています。これは0.63から12.5Hzまで1/3オクターブステップ、14の変調周波数で測定したものです。各々のMTFは、七つのオクターブバンドにおいてどれくらい変調度が保たれているかを表します。

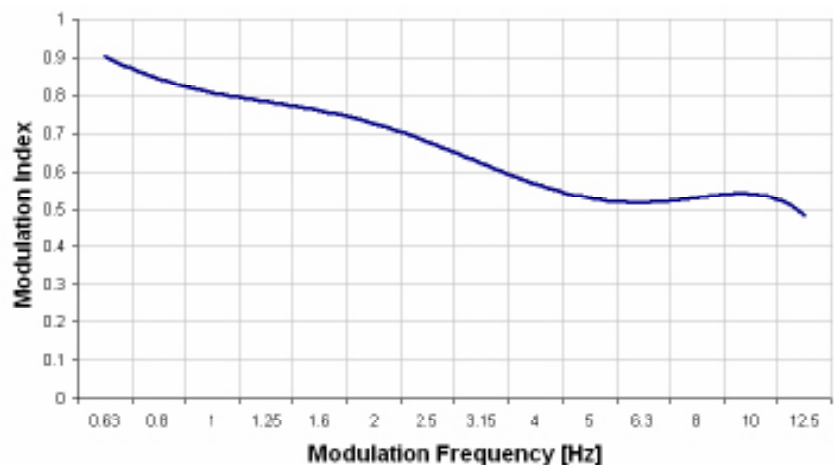


図6: 一つのオクターブバンドのModulation Transfer Function (MTF)

話者から聴取者へ届いた音声明瞭度がどれくらい保たれているかは、MTFの値だけでなく、音圧レベル、オクターブバンドの聴覚閾値、周波数レスポンス、心理音響効果（マスキング効果）などに基づいて決定されます。この計算は、広範囲かつ深い学識を基にしており、主観的評価と比較検証されています。



STIで規定されるすべてのMTFを計算するには非常に時間を要します。14の変調周波数と七つのオクターブバンドを掛け合わせると、98回のMTFの計算が必要です。そのため、試験時間を減らし、ポータブル測定器で音声明瞭度の測定ができるよう、他の方法が開発されました。

TNO (オランダ応用科学研究機構) は、XL2アナライザによるSTIPA法とFULL STI法の相関性が $\pm 0.03$  STI以内であることを実証しました。

## STI - Speech Transmission Index

STIの値は、すべての98セットの測定に基づいています。この手法は測定にかなり時間がかかるため、実際にはそれほど適用されていません。しかし、STIは音声明瞭度が伝達過程でどれくらい保たれているかを最も忠実に表しています。そして、主に他の評価方法では好ましくない測定環境により信頼できる値が得られない場合に使われます。

|              | Modulation Frequencies |        |      |         |        |      |        |         |      |      |        |      |       |         |
|--------------|------------------------|--------|------|---------|--------|------|--------|---------|------|------|--------|------|-------|---------|
|              | 0.63 Hz                | 0.8 Hz | 1 Hz | 1.25 Hz | 1.6 Hz | 2 Hz | 2.5 Hz | 3.15 Hz | 4 Hz | 5 Hz | 6.3 Hz | 8 Hz | 10 Hz | 12.5 Hz |
| Octave Bands | 125 Hz                 | ✓      | ✓    | ✓       | ✓      | ✓    | ✓      | ✓       | ✓    | ✓    | ✓      | ✓    | ✓     | ✓       |
|              | 250 Hz                 | ✓      | ✓    | ✓       | ✓      | ✓    | ✓      | ✓       | ✓    | ✓    | ✓      | ✓    | ✓     | ✓       |
|              | 500 Hz                 | ✓      | ✓    | ✓       | ✓      | ✓    | ✓      | ✓       | ✓    | ✓    | ✓      | ✓    | ✓     | ✓       |
|              | 1 kHz                  | ✓      | ✓    | ✓       | ✓      | ✓    | ✓      | ✓       | ✓    | ✓    | ✓      | ✓    | ✓     | ✓       |
|              | 2 kHz                  | ✓      | ✓    | ✓       | ✓      | ✓    | ✓      | ✓       | ✓    | ✓    | ✓      | ✓    | ✓     | ✓       |
|              | 4 kHz                  | ✓      | ✓    | ✓       | ✓      | ✓    | ✓      | ✓       | ✓    | ✓    | ✓      | ✓    | ✓     | ✓       |
|              | 8 kHz                  | ✓      | ✓    | ✓       | ✓      | ✓    | ✓      | ✓       | ✓    | ✓    | ✓      | ✓    | ✓     | ✓       |

図7: STIは14の変調周波数と七つのオクターブバンドで98の変調指数を算出

実際、STI値は主にPCをベースとしたシステムなどで取得したインパルスレスポンス(MLS)から計算されます。この手法を用いれば測定時間は短くなりますが、スペクトル周波数重み付けの後処理等測定者に豊富な経験が必要です。この測定では、信号の伝達経路が線形であることを仮定しています。すなわちリミッターやコンプレッサー等による非線形特性や処理が無いこと、また風速が限りなくゼロに近い測定環境であることが必要ですが、実際には稀な状況といえます。

## RASTI - Room Acoustics Speech Transmission Index

国際標準IEC60268-16, edition 4.0, 2011より、RASTI は音声明瞭度の測定方法として使用すべきではないとされています。

RASTIは、電気音響システムの設置された場所ではなく、一人で講義するような反響を対象としない狭い室内向けに開発されました。また、STI測定 of 煩雑な処理に要する時間を短縮する目的もあります。しかし、広範囲な試験への適用や測定環境の反映が十分ではありません。このことが主観的に評価された結果と相関の高いSTIとRASTIの測定誤差を大きくしています。長らくの間、RASTIはポータブル測定器で音声伝達の品質を測定できる唯一の指標でした。そして、空港のアナウンスシステムを測定する際には、不足はあるものの広範囲に使われてきました。

RASTIはMTF一覧表のすべての値からごく一部を基に求められており、STIの計算をかなり簡素化しています。そのため、RASTIにより信頼できる音声明瞭度値を求めるには厳しい制約を受けます。さらにRASTIの測定結果には、周波数レスポンス、反響、周波数対残響時間などの重要なパラメータが計算に加えられていません。RASTIの測定では、500 Hzと2 kHzの二つの帯域とそれぞれ4個と5個の変調周波数だけが計算対象になっています。

|              |        | Modulation Frequencies |        |      |         |        |      |        |         |      |      |        |      |       |         |
|--------------|--------|------------------------|--------|------|---------|--------|------|--------|---------|------|------|--------|------|-------|---------|
|              |        | 0.63 Hz                | 0.8 Hz | 1 Hz | 1.25 Hz | 1.6 Hz | 2 Hz | 2.5 Hz | 3.15 Hz | 4 Hz | 5 Hz | 6,3 Hz | 8 Hz | 10 Hz | 12.5 Hz |
| Octave Bands | 125 Hz |                        |        |      |         |        |      |        |         |      |      |        |      |       |         |
|              | 250 Hz |                        |        |      |         |        |      |        |         |      |      |        |      |       |         |
|              | 500 Hz |                        |        | ✓    |         |        | ✓    |        |         | ✓    |      |        | ✓    |       |         |
|              | 1 kHz  |                        |        |      |         |        |      |        |         |      |      |        |      |       |         |
|              | 2 kHz  | ✓                      |        |      | ✓       |        |      | ✓      |         |      | ✓    |        |      | ✓     |         |
|              | 4 kHz  |                        |        |      |         |        |      |        |         |      |      |        |      |       |         |
|              | 8 kHz  |                        |        |      |         |        |      |        |         |      |      |        |      |       |         |

RASTIで対象とされる二つのオクターブバンドでの9個の変調周波数

RASTIは、通常話者と聴取者間の伝達経路の明瞭度を数値化する場合にのみ使われます。

## STIPA - Speech Transmission Index for Public Address

RASTIの不十分な点や新しい技術の誕生、さらに安全性に対する意識の高まりを受け、スピーカーの大手メーカーであるBOSE社がPAシステム向けに新しい音声明瞭度測定法を開発しました。この開発によりSTIPAが誕生し、ポータブル測定器でも素早く正確な測定が可能になりました。

STIPAにおいてもMTFの計算が簡素化されています。しかし、一つのMTFを七つすべての周波数帯域で求めており、各々の周波数帯域は二つの周波数で変調されます。

強い衝撃騒音がなく、また大きな非線型歪みが発生していない場合、STIPAの手法はfull STIの手法と同等の正確な値が算出されます。しかし、システムが稼動する通常の時間帯で衝撃騒音が発生する場合、例えば異なる場所や夜の時間帯などより良好な条件で測定を実施して影響を抑えるか、両方のテストサイクルの結果を加味して全体の測定値を厳密に算出できます。

旧IEC60268-16:2003で規定されるSTIPAの手法では、125Hzと250Hzの帯域が結合されています。また、黄色で色づけされた変調周波数は計算対象外になっています。

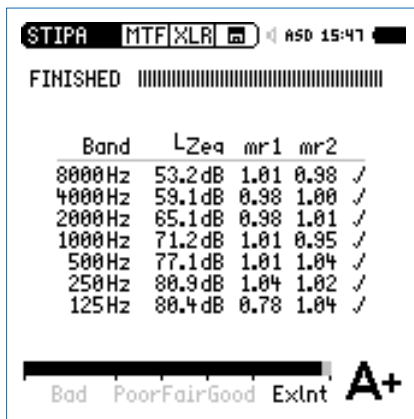
|              |        | Modulation Frequencies |        |      |         |        |      |        |         |      |      |        |      |       |         |
|--------------|--------|------------------------|--------|------|---------|--------|------|--------|---------|------|------|--------|------|-------|---------|
|              |        | 0.63 Hz                | 0.8 Hz | 1 Hz | 1.25 Hz | 1.6 Hz | 2 Hz | 2.5 Hz | 3.15 Hz | 4 Hz | 5 Hz | 6.3 Hz | 8 Hz | 10 Hz | 12.5 Hz |
| Octave Bands | 125 Hz |                        |        | ✓    |         |        |      |        |         |      | ✓    |        |      |       |         |
|              | 250 Hz |                        |        |      |         |        |      |        |         |      |      |        |      |       |         |
|              | 500 Hz | ✓                      |        |      |         |        |      |        | ✓       |      |      |        |      |       |         |
|              | 1 kHz  |                        |        |      |         |        | ✓    |        |         |      |      |        |      | ✓     |         |
|              | 2 kHz  |                        |        |      | ✓       |        |      |        |         |      |      | ✓      |      |       |         |
|              | 4 kHz  |                        | ✓      |      |         |        |      |        |         | ✓    |      |        |      |       |         |
|              | 8 kHz  |                        |        |      |         |        |      | ✓      |         |      |      |        |      |       | ✓       |

旧IEC60268-16:2003によるSTIPA (2011年版で改定済み)

NTi Audioのハンドヘルド型アナライザは、規格より高い精度の音声明瞭度測定が可能な余裕度の高い多い処理能力を持っています。NTi AudioのSTIPA測定法(TNOで検証済み)は、七つオクターブバンドと14の変調周波数から音声明瞭度を正確に算出します。この手法はIEC60268-16:2011に標準化されています。

|              |        | Modulation Frequencies |        |      |         |        |      |        |         |      |      |        |      |       |         |
|--------------|--------|------------------------|--------|------|---------|--------|------|--------|---------|------|------|--------|------|-------|---------|
|              |        | 0.63 Hz                | 0.8 Hz | 1 Hz | 1.25 Hz | 1.6 Hz | 2 Hz | 2.5 Hz | 3.15 Hz | 4 Hz | 5 Hz | 6.3 Hz | 8 Hz | 10 Hz | 12.5 Hz |
| Octave Bands | 125 Hz |                        |        | ✓    |         | ✓      |      |        |         |      | ✓    |        | ✓    |       |         |
|              | 250 Hz |                        |        |      | ✓       |        |      |        |         |      |      |        |      |       |         |
|              | 500 Hz | ✓                      |        |      |         |        |      |        | ✓       |      |      |        |      |       |         |
|              | 1 kHz  |                        |        |      |         |        | ✓    |        |         |      |      |        |      | ✓     |         |
|              | 2 kHz  |                        |        |      | ✓       |        |      |        |         |      |      | ✓      |      |       |         |
|              | 4 kHz  |                        | ✓      |      |         |        |      |        |         | ✓    |      |        |      |       |         |
|              | 8 kHz  |                        |        |      |         |        |      | ✓      |         |      |      |        |      |       | ✓       |

NTi Audio のSTIPA測定法 (IEC60268-16:2011に標準化)



Modulation Transfer Function表示

### STIPA Modulation Index mr1, mr2

音声明瞭度を良くするには、伝達された音声信号の変調度が保たれていることが重要です。そのためSTIPAは、MTF(Modulation Transfer Function)の測定を基に数値化されます。この関数は各々のオクターブバンドにおいて音声による変調度がどれくらい保たれているか定量化します。STIPAの測定法ではMTFを七つの周波数帯域で分析することで求めています。各々の帯域は2個の周波数で変調されており、変調比はmr1とmr2で表示されます。

- mr1: 変調周波数 0.63 - 2.5 Hz
- mr2: 変調周波数 3.15 - 12.5 Hz

mrの値は1.00に近いほど明瞭度が高いことを示しています。値が低いほど、低い変調度で伝達されたことを示しています。

これらすべての値は心理音響モデルとともに評価され、音声明瞭度は一つの数値で表されます。

## STIPAとSTIの比較

---

従来はPAシステムの音声明瞭度測定に非常に時間がかかっていました。98すべての変調伝達関数 (MTF) を測定し集計しなければいけません。STIは複雑な処理が必要で時間を要するため、本当に役立つSTI測定システムというものは何年にわたり存在しませんでした。MLSを基にしたシステムの出現により、直接伝達関数を測定しなくても計算できるようになりました。そのためSTIはこれまでよりも測定されるようになりましたが、システム全体が厳密に線形かつ同位相であるという条件が付きまします。また、マイクロホンとスピーカーは測定中に動かすことはできないので、ハンドヘルド測定器による測定は不可能です。このため、ハンドヘルド測定器ではMLS測定に対応するのではなく、変調ノイズによるSTIPA専用のテスト信号を使い測定します。

STIPAはFULL STIから派生した測定法で、現代の音響システムに共通する非線型処理環境に対応し、実用レベルまで測定時間を短縮しています。一般的な非常用放送設備において、STIPAとFULL STIの測定結果は約99%の相関性が確認されています。一般的に、繰り返し測定での最大偏差はFULL STIでは約0.02 STI、STIPAでは約0.03 STIです。

## STIPAと% Alconsの計算

---

$$\text{Alcons (\%)} = 10^{((1-\text{STI})/0.45)}$$

STIPA と% Alconsは測定原理に違いがあるため、計算することは妥当ではありません。

## 現在のSTIPA

---

STIPA (Speech Transmission Index for Public Address systems)は、ポータブル測定器による高速で正確な測定を可能にします。例えばNTi Audio XL2オーディオ&アコースティックアナライザは、15秒で一回の測定が可能のため、広い場所でも効率良く測定できます。